

В.В. РОМАНОВ, к.т.н., технический директор ГП НПКГ "Зоря" – "Машпроект"
В.Е. СПИЦЫН, к.т.н., главный конструктор ГП НПКГ "Зоря" – "Машпроект"
А.И. МИРОНЕНКО, начальник отдела редукторов ГП НПКГ "Зоря" – "Машпроект"
Е.А. ГАМЗА, ведущий инж.-констр. отд. редукторов ГП НПКГ "Зоря" – "Машпроект"

ИОННО-ПЛАЗМЕННОЕ АЗОТИРОВАНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ И СРЕДНЕ НАГРУЖЕННЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС РЕДУКТОРОВ

Представлені результати іоно-плазмового азотування конічних та циліндричних зубчастих коліс. Висвітлена методика порівняльних випробувань цементованих і азотованих зубчастих коліс на стенді замкненого контуру. Показані результати дефектації зубців з різною хіміко-термічною обробкою після їх випробувань.

The results of the nitriding of conical and cylinder gear-wheels are presented. The method of comparative tests of the cemented and nitrided gear-wheels is lighted up on a stand reserved a contour. The results of indents are rotined with different treatment after their tests.

Введение. Газотурбинные установки для кораблей на воздушной подушке и подводных крыльях, которые создаются в ГП НПКГ "Зоря" – "Машпроект", оснащены, в основном, угловыми редукторами с применением конических зубчатых передач в сочетании с передачами с цилиндрическими колесами. Как правило, высокоскоростные и тяжелонагруженные зубчатые колеса имеют цементируемые шлифованные зубья. Однако наряду с высокой нагрузочной способностью цементируемых зубчатых колес они имеют ряд следующих существенных недостатков:

1. Поводка зубчатых колес при высокой температуре закалки ($\sim 950^\circ\text{C}$) после цементации, в результате чего необходимо проводить дополнительную операцию шлифования зубьев и других особо точных поверхностей.
2. В процессе шлифования цементируемых поверхностей существует большая вероятность появления прижогов следствии отклонения от режимов технологического процесса.
3. Для выявления возможных прижогов (прижогов отпуска и вторичной закалки) вводится дополнительная гальваническая операция – травление, которая является экологически вредной.
4. Цементируемые зубчатые колеса имеют относительно невысокую температуру отпуска ($\sim 160^\circ\text{C}$), что ограничивает температурный режим и быстроходность редуктора.

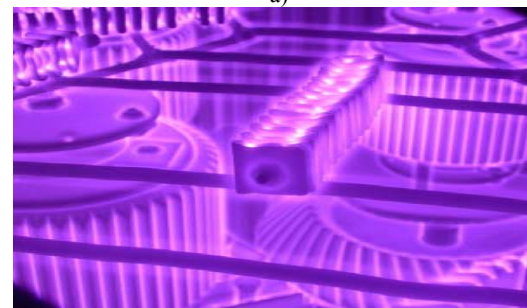
1. Ионно-плазменное азотирование зубчатых колес. С целью устранения вышеуказанных недостатков цементируемых зубчатых колес на ГП НПКГ "Зоря" – "Машпроект" проведены экспериментальные работы по сравнительной проверке работоспособности зубчатых колес с цементируемыми и

азотируемыми (ионно-плазменное азотирование – ИПА) зубьями конических и цилиндрических передач редукторов воздушного винта корабля на воздушной подушке. Проведенные работы заключались в следующем.

Два редуктора воздушного винта (нижний №1 и верхний №2) оснащены коническими и цилиндрическими зубчатыми колесами из материала 18Х2Н4МА ГОСТ 4543-71 с цементируемыми и шлифуемыми зубьями. Толщина слоя цементации после шлифования зубьев $h > 1,0$ мм, твердость рабочей поверхности зубьев HRC=59. Другие аналогичные два редуктора воздушного винта (нижний №3 и верхний №4) оснащены такими же коническими и цилиндрическими зубчатыми колесами из материала 18Х2Н4МА, но с химико-термическим упрочнением зубьев методом ионно-плазменного азотирования (зубья после ИПА не шлифовались). Толщина слоя азотирования $h = 0,40 \dots 0,45$ мм, твердость рабочей поверхности зубьев HV 685...700. При проверке геометрических параметров и пятен контакта сопрягаемых зубьев до и после ИПА отличий не обнаружено.



a)



б)

Рисунок 1 – Расположение азотируемых зубчатых колес на установке АР-63 (а), процесс ионно-плазменного азотирования (б).

Процесс ИПА проводился на совместном белорусско-американском

предприятия "Авицена Интернешнл" (г. Минск) на установке АР-63 в автоматическом режиме при температуре 487°C в азот, водород, аргонсодержащей плазме пульсирующего тока, время выдержки 70 часов (рисунок 1).

2. Сравнительные испытания зубчатых колес с различной химико-термической обработкой. Указанные редукторы воздушного винта №№ 1, 2, 3 и 4 проходили 100-часовые испытания на номинальном режиме на стенде замкнутого контура в научно-исследовательском отделении ГП НПКГ "Зоря" – "Машпроект" [1] по программе, предусматривающей получение следующих параметров:

- мощность, циркулирующая в замкнутом контуре – 7000 л.с.;
- частота вращения входных валов редукторов №1 и №3 – 7000 об/мин;
- окружная скорость в зацеплении конических зубчатых колес редукторов №1 и №3 – $V=135,8$ м/с;
- окружная скорость в зацеплении цилиндрических зубчатых колес редукторов №2 и №4 – $V=46,4$ м/с;
- контактные напряжения на поверхности круговых зубьев конических колес – редукторов №1 и №3 $\sigma_H=1168$ МПа;
- контактные напряжения на поверхности прямых зубьев псевдопланетарной передачи редукторов №2 и №4 – $\sigma_H=912$ МПа.

Принципиальная схема испытательного стенда показана на рисунке 2, его внешний вид показан на рисунке 3.

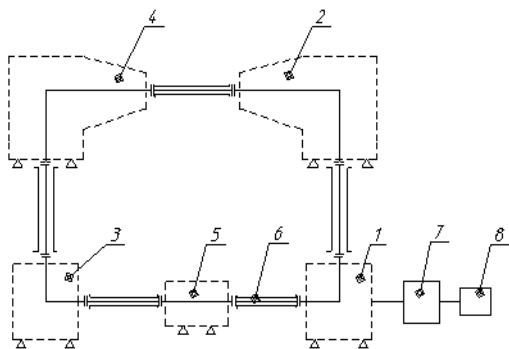


Рисунок 2 – Принципиальная схема испытательного стенда редукторов по замкнутому контуру

1, 3 – нижние редукторы; 2, 4 – верхние редукторы; 5 – гидравлический нагрузатель; 6 – рессора измерения крутящего момента; 7 – стеновой мультипликатор; 8 – приводной электродвигатель.

3. Результаты дефектации зубчатых колес с различной химико-термической обработкой после испытаний. После выполнения 100 часовых испытаний все редукторы №№ 1, 2, 3 и 4 были разобраны и продефектированы. Результаты дефектации следующие.



Рисунок 3 – Внешний вид испытательного стенда редукторов по замкнутому контуру

Внешний вид цилиндрических и конических зубчатых колес с ионно-плазменным азотированием в удовлетворительном состоянии, следов натира, выкрашивания и заедания не наблюдается (рисунок 4).



Рисунок 4 – Состояние зубчатых колес с ионно-плазменным азотированием

Проверка поверхности зубьев неразрушающими методами контроля (магнитопорошковая дефектоскопия, люминесцентный контроль) каких-либо дефектов не обнаружила. Твердость поверхностей зубьев соответствует твердости после изготовления (HV~680-700). Геометрический контроль зубчатых колес также не обнаружил каких-либо отклонений по сравнению с исходным состоянием.

Состояние аналогичных зубчатых колес с цементированными зубьями также удовлетворительное (рисунок 5).

С целью внедрения ИПА в технологические процессы изготовления зубчатых колес, других деталей ходовой части редукторов и газотурбинных двигателей, а также различного режущего инструмента в НПКГ "Зоря" – "Машпроект" создана соответствующая установка для ИПА указанных деталей. На указанной установке отработаны технологические процессы ИПА. Сравнительные испытания конических колес с ИПА на установке производства ГП НПКГ "Зоря" – "Машпроект" и установке АР-63 (Беларусь) намечено провести на стенде замкнутого контура (рисунок 2) в III-м квартале 2009г.



Рисунок 5 – Состояние зубчатых колес с цементированными зубьями

Необходимо также отметить, что в девяностых годах прошлого столетия нашим предприятием в сотрудничестве с Московским высшим техническим училищем им. Баумана проводились исследования новой высокопрочной стали ВКС-7 с качественно лучшим способом поверхностного упрочнения – ИПА. Внедрение ИПА позволило получить ряд преимуществ по сравнению с

обычным печным газовым азотированием:

- более высокая скорость процесса;
- высокая экономичность, расход электроэнергии снижается в 3...5 раз, аммиака – в 30...80 раз;
- высокая пластичность азотированного слоя;
- повышенная контактная и изгибная выносливость;
- простота защиты поверхности в местах, не требующих азотации.

Для проверки повышенной контактной и изгибной выносливости проведены стендовые испытания зубчатых колес, изготовленных из стали ВКС-7 с ИПА, на одном комплекте цилиндрического псевдопланетарного редуктора энергетической установки ГТГ – 2500. Для сравнительных испытаний шестерни из ВКС-7 были изготовлены с шириной зубчатого венца 55 мм., в то время как аналогичные серийные шестерни из 18Х2Н4МА с обычным газовым азотированием имели ширину 95 мм. Редукторы с опытными и серийными шестернями испытывались также на специально созданном стенде замкнутого контура с перегрузкой по крутящему моменту на 25% выше номинального. Время испытаний составило 60 часов, при этом шестерни наработали $1,5 \times 10^8$ циклов.

Дефектация редукторов после указанных испытаний показала удовлетворительное состояние зубчатых колес из стали ВКС-7 с ИПА. [2].

Выводы.

1. Цилиндрические и конические зубчатые колеса с ИПА работоспособны при окружных скоростях до ~140 м/с и контактных напряжениях $\sigma_H=1170$ МПа.
2. На проверенных параметрах зубья, азотируемые методом ИПА, не уступают по работоспособности цементированным зубьям
3. При создании новых и модернизации существующих высокоскоростных и средне нагруженных редукторов целесообразно заменить цементируемые и шлифованные зубья на их ионно-плазменное азотирование. Указанная замена позволит:
 - 3.1. Исключить дорогостоящий и длительный процесс шлифовки зубьев после цементации, а следовательно и вероятность их прижогов.
 - 3.2. Повысить рабочую температуру в зубчатом зацеплении до 450 °С.
 - 3.3. Уменьшить вероятность заедания зубьев.

Список литературы: 1. *Сучасні проблеми триботехніки*: Матеріали I-ї міжнародної науково-технічної конференції – Миколаїв: НУК, 2007. – 144с. 2. *Известия академии инженерных наук Украины*, выпуск 1/1999.

Поступила в редколлегию 25.04.09